

## PROPOSTA DE UM FRAGMENTADOR DE MADEIRA UTILIZANDO A FORÇA DO COMANDO HIDRÁULICO DE UM TRATOR AGRÍCOLA

Éverton Mariani<sup>1</sup>; Franco da Silveira<sup>2</sup>; Filipe Molinar Machado<sup>3</sup>; Fernando Gonçalves Amaral<sup>4</sup>; Fátima Regina Zan<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia Mecânica - DEM

Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI – Santo Ângelo/RS – Brasil

[evertonmariani@hotmail.com](mailto:evertonmariani@hotmail.com)

<sup>2</sup>Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - PPGEP

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS – Porto Alegre/RS – Brasil

[franco.da.silveira@hotmail.com](mailto:franco.da.silveira@hotmail.com)

<sup>3</sup>Departamento de Engenharia Mecânica - DEM

Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI – Santo Ângelo/RS – Brasil

[fmacmec@gmail.com](mailto:fmacmec@gmail.com)

<sup>4</sup>Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - PPGEP

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS – Porto Alegre/RS – Brasil

[amaral@producao.ufrgs.br](mailto:amaral@producao.ufrgs.br)

<sup>5</sup>Gestão e Negócios

Instituto Federal Farroupilha – IFF – Santo Ângelo/RS – Brasil

[fatima.zan@iffarroupilha.edu.br](mailto:fatima.zan@iffarroupilha.edu.br)

### Resumo

*A fragmentação manual de madeira é uma tarefa complexa, pois exige esforço físico para realizar a operação e requer uma técnica específica em sua usabilidade. O corte de madeira mediante o uso da ferramenta machado é classificado como oneroso, árduo e contempla diferentes tipos de ergonomia para operá-lo, dificultando a sua utilização em diferentes atividades. O artigo objetiva propor um mecanismo de machado mecânico movido pelo comando hidráulico de um trator agrícola que efetue operações de corte e segmentação de madeira em pequenos pedaços. A metodologia aplicada consiste no Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP). O desenvolvimento do dispositivo foi dividido em quatro etapas: planejamento do projeto, projeto informacional, projeto conceitual e projeto detalhado. O emprego de um equipamento com a utilização da força hidráulica apresenta uma série de benefícios, em específico com relação à mobilidade. O usuário poderá locomover facilmente o equipamento, pois pode ser acoplado em um trator agrícola. Além disso, o equipamento utiliza a potência do mesmo para a geração de pressão para o acionamento do cilindro hidráulico contra as lâminas cortantes, sem necessidade de esforços físicos. A pesquisa contribuiu para o entendimento, ensino e aprendizagem de PDP, como também, para a oferta e proposição de um produto resistente e com uma metodologia de corte totalmente diferente, que pode ajudar em uma maior produtividade e menor tempo de trabalho, com uma usabilidade do produto simples e de fácil manejo.*

**Palavras-chave:** fragmentação de madeira, PDP, projeto detalhado, machado mecânico.

## 1 Introdução

Uma das áreas que a engenharia mecânica abrange é a agricultura. Esta integração entre ambos os setores está se desenvolvendo concomitantemente nas diferentes regiões brasileiras e proporciona características importantes para as pessoas que trabalham no campo (precisão, comodidade e melhor produtividade) (SILVEIRA et al., 2018). Nesse contexto, percebe-se a importância da servitização rural, que exige no desempenho de suas tarefas equipamentos tecnológicos que facilitam as funções exercidas pelos trabalhadores rurais (DING et al., 2018). Nota-se assim, que pesquisas com o escopo em desenvolvimento de produtos para o setor agrícola estão se desenvolvendo em maior escala e objetivam melhorar o trabalho das pessoas no campo (SEVERO et al., 2014; FRANTZ et al., 2015).

Porém, há uma lacuna de informações que tratam das tarefas do cotidiano do produtor rural. Uma das atividades que não apresenta estudos adequados é a fragmentação da madeira para a utilização domiciliar. O corte de madeira normalmente é realizado mediante o uso da ferramenta manual machado. Trata-se de um utensílio pré-histórico que passou por diferentes gerações e até hoje é muito utilizado, no entanto é possível verificar que houve poucas evoluções no decorrer do tempo. Conforme Päivinen e Heinimaa (2009), os clientes que usam o machado exigem produtos fáceis de usar e que apresentem fatores ergonômicos adequados. Para ter sucesso, um produto ou sistema deve fornecer interação satisfatória com seu usuário ou cliente, tanto em nível funcional quanto cultural. Os produtos bem projetados utilizados em situações de trabalho com conteúdo de trabalho equilibrado reduzem o risco de lesões ocupacionais da mão, punho e antebraço. Ao melhorar a ergonomia e a usabilidade das ferramentas manuais como o machado, a eficiência do trabalho, a produtividade e a qualidade, bem como o conforto e a segurança do usuário podem ser melhorados (KUIJT-EVERS et al., 2007).

Considerando que a maioria dos habitantes das áreas rurais possuem tratores agrícolas de pequeno, médio e grande porte com sistema de comando hidráulico, que funciona por meio de pressão de óleo, é possível desenvolver alternativas de produtos para a fragmentação de madeira. Para Rozenfeld et al. (2006), no desenvolvimento de um produto é preciso reunir todas as ideias e com base no que foi agrupado consolidar o projeto final, em que se deve afinar a proposta para que se obtenham os requisitos bem definidos, tendo o senso perceptivo do que se encaixará no projeto, a fim de chegar ao exemplar desejado. Segundo Keeling (2014), um projeto quando desenvolvido de maneira tranquila e estruturada, acaba por se tornar prazeroso e estimulante de desenvolvê-lo. Porém, sendo mal gerenciado e com definições inadequadas acaba se tornando um grande problema para as partes interessadas do projeto, pois acarreta em problemas financeiros. Um fator determinante é que muitos projetos ambiciosos e meritórios não alcançam seus objetivos em razão das inadequações em termos de viabilidade, planejamento ou implementação do produto no mercado (ROMANO, 2013; KEELING, 2014).

Nesse contexto, o desenvolvimento de projetos com inovações para a resolução de problemas para a sociedade em geral se destacam (SILVA et al., 2014). Assim, o artigo objetiva propor um mecanismo de machado mecânico movido pelo comando hidráulico de um trator agrícola que efetue operações de corte e segmentação de madeira em pequenos pedaços. A pesquisa assume relevância pelo fato que o fragmentador de madeira é um equipamento que está em carência no mercado. A grande maioria dos agricultores e vendedores de madeira não apresentam um equipamento sofisticado para a fragmentação da madeira e por isso o desenvolvimento de uma proposição teórica de produto pode ser uma alternativa. O artigo está dividido em 5 seções, além da introdução inicial. Na seção 2, apresenta-se um contexto sobre a temática do Processo de

Desenvolvimento de Produtos (PDP). Na seção 3 é apresentada a abordagem metodológica adotada na pesquisa. Na sequência, apresentam-se os resultados encontrados e, por fim, as conclusões, limitações e propostas de trabalhos futuros.

## **2 Referencial Teórico**

### **2.1 Desenvolvimento de Produto**

O desenvolvimento de produtos consiste em um conjunto de atividades que busca entender as necessidades do mercado e as possíveis restrições tecnológicas, analisando as estratégias competitivas e de produtos das empresas, ponderando às especificações adequadas do projeto do produto e seus processos de produção, para que a manufatura seja capaz de produzi-lo. O desenvolvimento do produto contempla diferentes atividades, tais como: acompanhamento do produto após lançamento, planejamento de descontinuidade do produto e a incorporação no processo de desenvolvimento e lições aprendidas ao longo do ciclo de vida do produto (ROZENFELD et al., 2006; COSTA e TOLEDO, 2013).

Existem projetos de desenvolvimentos de produtos com diferentes proporcionalidades (pequenos, médios e de longo prazo). Para Keeling (2014), os projetos de pequeno prazo podem ser de curta duração, ou seja, que duram apenas alguns dias com investimentos geralmente baixos e com execução dependente de algumas horas ou que não farão sentido algum para a empresa. Os projetos médios ou de longo prazo podem representar investimentos ambiciosos que podem se estender por muitos anos. Tratam-se de projetos que necessitam de altos recursos financeiros, como por exemplo: materiais, altos níveis de habilidade técnica e científica e estruturas de administração complexas. Porém, todos os projetos possuem características similares, mesmo com distintas proporções, todos estão empregados nas mesmas características: i) são empreendimentos independentes; ii) possuem propósito e objetivos específicos; iii) têm duração limitada (início e fim bem definidos); iv) entregam um resultado único; v) recursos próprios (incluindo financeiros e humanos); e vi) estrutura administrativas próprias (ROZENFELD et al., 2006; KEELING, 2014).

Para o sucesso do projeto de desenvolvimento de produto, devem-se ponderar as definições de suas principais especificações e como será realizada a construção do mesmo. Por isso, é preciso definir os materiais e as tecnologias que serão utilizadas e processos necessários para possibilitar a fabricação. O desenvolvimento do produto no seu início pode resultar em aproximadamente 85% do custo final do produto. Os demais 15% ficam em mudanças realizadas ao longo do desenvolvimento do produto, como definições e decisões que são tomadas no seu ciclo de desenvolvimento. Após definir todos estes parâmetros, é necessário fazer os desenvolvimentos dos conjuntos tais como: determinar as tolerâncias das peças; construir e testar o protótipo; definir os fornecedores; arranjo de parceiros da cadeia de suprimentos e o arranjo físico da produção; campanha de marketing; e assistência técnica (ROZENFELD et al., 2006).

## **3 Metodologia**

A metodologia adotada dividiu-se em quatro fases: i) planejamento do projeto; ii) projeto informacional; iii) projeto conceitual; e iv) projeto detalhado (ROZENFELD et al., 2006). Na parte de planejamento de projeto, se definiu o plano de projeto do produto, composto pela declaração do escopo do projeto, atividades que foram realizadas e suas durações, prazos, orçamentos e pessoal responsável, recursos necessários, análise de

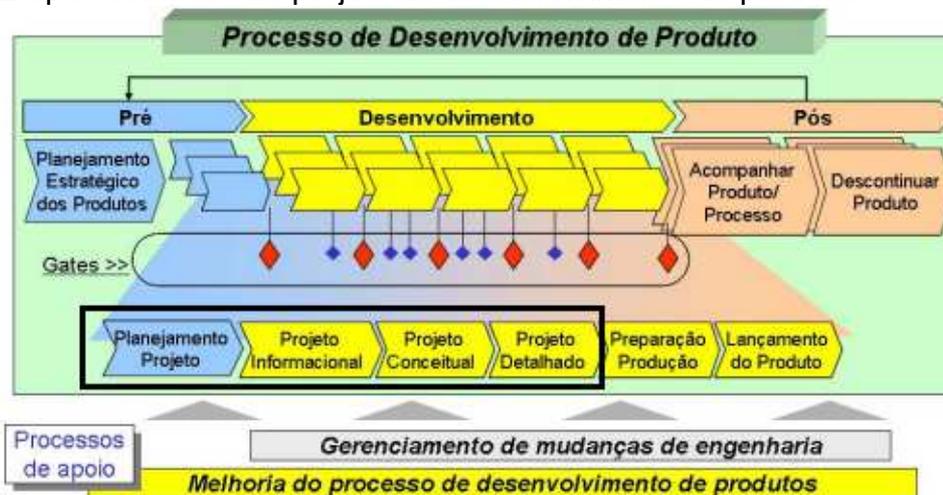
riscos e indicadores de desempenho. Tudo isso foi analisado para que o projeto de desenvolvimento de produto não apresentasse problemas nas fases seguintes.

No projeto informacional foi definido as especificações-metas do produto a serem alcançadas, ou seja, requisitos com valores-metas, composto por informações adicionais qualitativas e Posteriormente, definiu-se os requisitos do produto, requisitos dos clientes, o escopo e especificação do produto.

Para os requisitos com valores-meta, fez-se um estudo detalhado de tudo que se foi utilizado para desenvolver o projeto, analisando o que o cliente precisa, o que produto pode almejar, qual o gasto para que haja o seu desenvolvimento, o seu preço de custo para a comercialização, os componentes a serem utilizados tudo é detalho dentro deste quesito.

Nas informações adicionais qualitativas verificou-se como seria a aceitação do mesmo, se as pessoas gostariam de ter um equipamento diferenciado para determinado manejo, possibilitando uma informação do que será o produto assim que for lançado em mercado. A Figura 1 apresenta todas as etapas que foram seguidas para o projeto de desenvolvimento de produto.

Figura 1 – Etapas adotadas no projeto de desenvolvimento de produto.



Fonte: (ROZENFELD et al., 2006).

O projeto conceitual, por meio das especificações-metas definidas na fase do projeto informacional, determinou a concepção do produto, que envolveu a integração dos princípios de solução (de forma a atender a função total do produto), a arquitetura do produto, o processo macro de fabricação e montagem e listas dos sistemas, subsistemas e componentes principais. A integração dos princípios de solução ajudaram a entender como o equipamento será empreendido e na busca de soluções de problemas que os clientes estão tendo para desenvolver determinadas tarefas do dia a dia. Na arquitetura do produto foi desenvolvido o estereótipo do equipamento para dar uma desenvoltura chamativa e criativa para o equipamento. Para o *layout* e estilo do produto buscou-se pesquisar e entender o que os clientes querem quanto a sua estrutura, formato, cor, entre outros aspectos que proporcionem um mecanismo chamativo no mercado de agronegócios. No macroprocesso de fabricação e na montagem foram ajustados quais os procedimentos e máquinas o produto deve passar para ser fabricado.

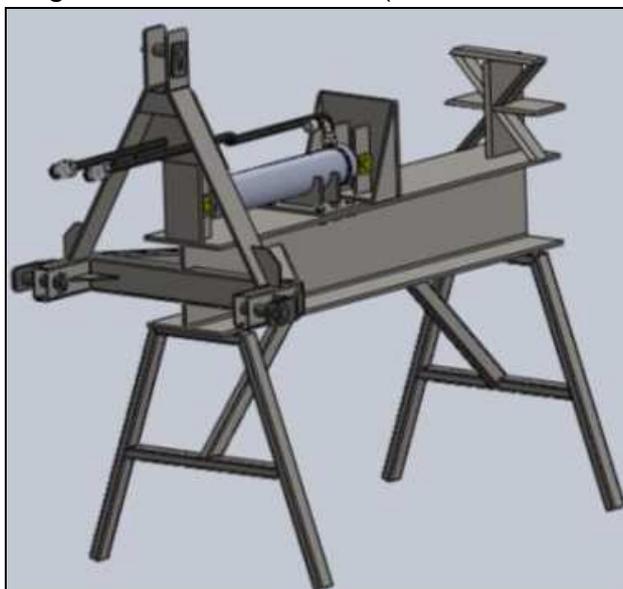
O projeto detalhado se caracteriza por conter as especificações finais do produto, tais como: especificações do sistema, subsistemas e componentes, lista de materiais final, desenhos finais e tolerâncias, plano dos processos, projeto de embalagem, material de suporte protótipo funcional, projeto dos recursos e plano de fim de vida do produto.

Organizaram-se as ideias e conceitos sobre o novo mecanismo a ser desenvolvido, neste caso, o machado mecânico, onde se buscou juntar diversas ideias de como construí-lo e de quais componentes são necessários na sua criação, como base em uma pesquisa de campo com clientes para encontrar um método de solução para os problemas que foram mencionados. A arquitetura e a estrutura foram desenvolvidas por meio de desenhos feitos em *CAD 3D SolidWorks®*, para facilitar simulações que apresentam a realidade que o produto suportará nas atividades propostas e as diversidades de ambiente onde ele será empregado.

#### 4 Resultados e Discussões

A arquitetura do produto foi desenvolvida com a performance de um produto simples, mas chamativo pelas suas interfaces. Por ser um implemento resistente e de baixo custo com uma ergonomia adequada para o operador e de boa produtividade, tem-se por base um sistema que apresenta uma facilidade na manutenção. Proporciona a remoção das peças caso haja defeito com grande mobilidade sem que se tenha esforços desvairados para consegui-la manter em perfeito estado. A Figura 2 representa a arquitetura do implemento, caracterizada como um sistema do perfil de machado mecânico, que é acoplado aos engates do comando do trator, onde o mesmo proporciona a partida que é responsável por gerar a pressão do óleo. Ao ser canalizada pelas mangueiras, a pressão do óleo é utilizada para a movimentação de um cilindro hidráulico, que deve ser ativo nos controles do painel do trator que movem o pistão, empurrando assim o toco de lenha contra as lâminas cortantes. O sistema de corte possui seu contorno em formato de hexágono com raios incisivos onde a madeira é fragmentada em pequenos tamanhos prontos para serem utilizados no ambiente domiciliar.

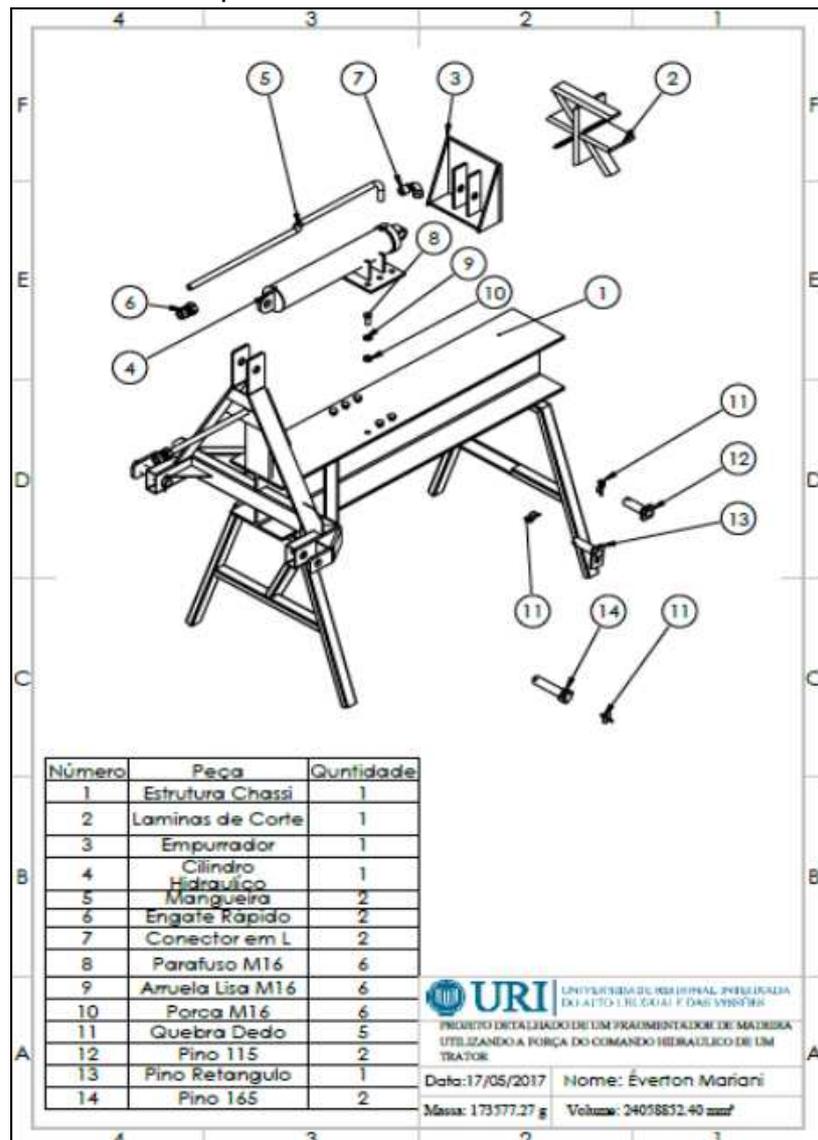
Figura 2 – Proposta do fragmentador de madeira (machado mecânico).



Fonte: Autores (2019).

O protótipo virtual foi desenvolvido em escala real com o software de *CAD 3D SolidWorks®*, que possibilitou a modelagem de cada peça ou componente, separado por submontagem ou subsistema e a montagem. A Figura 3 a vista explodida do produto desenvolvido e a lista de peças necessárias para realizar a montagem. Destaca-se que parte das peças desenvolvidas foram elaboradas especificamente para o protótipo.

Figura 3 – Desenho técnico do produto.



Fonte: Autores (2019).

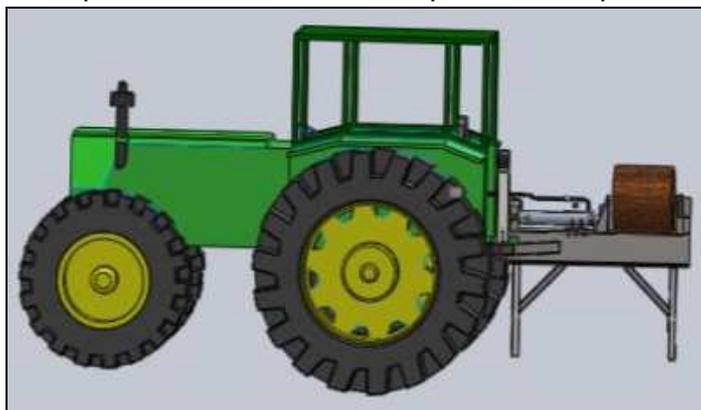
O produto buscou apresentar uma boa usabilidade para caracterizar-se como ergonômico. O protótipo foi desenvolvido para funcionar em uma altura favorável que seria adequada para o operador. O equipamento ficaria a 90 centímetros (cm) do chão com apoio em suas hastes, de modo que pode haver regulações da altura mediante o comando hidráulico do trator agrícola. Com uma altura baixa, resultaria em um desconforto para o operador que necessitaria ficar curvado para posicionar a madeira. Isso proporcionaria problemas físicos, pois se a máquina ficar abaixo da altura ideal não teria como o terceiro ponto do trator segurá-lo, além de que a madeira cortada se acumularia e iria atrasar o corte paulatinamente assim como o tempo de recolhimento das lascas.

A estratégia da estética do produto foi planejada para que o comprador observasse fatores como a resistência e o rendimento que pode ser alcançado. Além disso, a praticidade na hora de executar o serviço é uma característica peculiar do fragmentador de madeira. Com uma estrutura reforçada para que não gere problemas futuros e que resista em qualquer tipo de ambiente onde a máquina poderá ser aplicada. O projeto

buscou compreender as necessidades dos clientes e fazer com que o equipamento seja atrativo aos olhos do consumidor, pois o mercado possui mudanças competitivas entre as empresas fabricantes e os compradores se tornam mais exigentes quanto ao design do produto.

As especificações técnicas do machado mecânico foram desenvolvidas para ajudar no manejo de corte de lenha. As características principais deste equipamento são: i) facilidade no transporte, na movimentação com um trator para qualquer lugar desejado; ii) usabilidade adequada na operação e manutenção; iii) apresenta um sistema simples, com comando do trator que controla todas as variáveis e a velocidade que a haste do trator abre e fecha, conforme a aceleração do mesmo, que faz com que se tenha mais rotação ou menos, proporcionando mais pressão de óleo quando seus RPM estão elevados, e caso os RPM estejam baixos a pressão irá diminuir; e iv) sistema reforçado de lâminas e um cilindro hidráulico de boa força para que até mesmo as madeiras mais resistentes possam ser fragmentadas em pequenas lascas. A Figura 4 ilustra como ficaria o protótipo com a madeira posicionada e seu acoplamento ao trator agrícola. A seguir são descritas as características técnicas e o funcionamento dos principais sistemas que fazem parte do proposta de um fragmentador de madeira utilizando a força do comando hidráulico de um trator agrícola.

Figura 4 – Concepção de posicionamento final do produto acoplado no trator agrícola.



Fonte: Autores (2019).

*Sistema de geração de pressão* - a pressão é responsável pelo funcionamento do fragmentador. Sabe-se que o trator agrícola possui um sistema chamado comando hidráulico que é acionado mediante a movimentação de alavancas. Conforme está a rotação medida em RPM do trator gera mais ou menos pressão de óleo e quanto maior estiver elevado a aceleração maior são os RPM. Assim, para reduzir a pressão do óleo basta desacelerar o trator e para que haja o envio dessa pressão para o cilindro é preciso acoplar as mangueiras nos engates do trator e o restante é controlado pelas alavancas que fazem a injeção de óleo pressurizado pelas mangueiras e a outra dá alívio de pressão.

*Sistema do cilindro hidráulico* - após a injeção de pressão por meio das mangueiras que estão acopladas ao cilindro de dupla ação, este cilindro ao se injetar pressão de óleo, irá abrir sua haste e deverá empurrar a madeira contra as lâminas de corte. Posteriormente, ao despressurizar ou tirar a pressão do cilindro por meio da outra entrada onde seria o escape de óleo reduzindo a pressão interna do cilindro, a haste retorna ao seu estado inicial. Para que haja controle de velocidade da haste do cilindro, é preciso controlar a rotação do trator (rotação baixa movimentará lentamente a haste, rotação alta movimentará rapidamente a haste).

*Sistema de corte* - para que haja o corte da madeira é necessário que o cilindro hidráulico exerça força contra o cepo de madeira que será pressionado contra as lâminas.

*Sistema de encerramento de pressão* - após a haste do cilindro hidráulico retornar para seu estado inicial, pode-se desligar o trator agrícola para que não exerça novamente a geração de pressão. Além disso, é possível desacoplar o fragmentador do trator, porém é necessário mexer nas alavancas do comando movimentando-as para que se efetue o alívio da pressão do óleo para que desta forma as mangueiras do engate do comando do trator sejam removidas sem nenhum esforço. Isso facilita a usabilidade do acoplamento dos engates, pois com pressão de óleo dentro das mangueiras não é possível acoplar as mangueiras (por isso é necessário retirar a pressão que está contida dentro das mangueiras).

Todas as variáveis do projeto foram correspondidas com sucesso e apresentaram um excelente desempenho, cumprindo com os requisitos propostos, de modo que seja uma alternativa para facilitar o trabalho dos operadores que necessitam de um equipamento que auxilie nas funções de corte de madeira. O sistema de corte teve uma ótima abrangência e supriu diversas carências, em particular, do diâmetro da madeira, que sai totalmente fragmentado em pedaços sem precisar passar de novo pelo processo.

## 5 Conclusões

Caracterizado pela multidisciplinaridade, a concepção do produto do fragmentador de madeira apresenta um resultado que vai ao encontro de premissas que destacam a importância do emprego de uma metodologia no desenvolvimento de produtos na síntese de soluções. Assim, o objetivo proposto de desenvolver um fragmentador de madeira movido pelo comando hidráulico de um trator agrícola que efetue operações de corte e segmentação de madeira em pequenos pedaços foi alcançado. Além disso, foi possível desenvolver uma concepção de um produto que contemple os requisitos de clientes e consequentemente as especificações de projeto.

Com a concepção definida com base na estrutura do produto foi desenvolvido o protótipo virtual, utilizando-se um software de *CAD 3D SolidWorks®*. O protótipo virtual possibilitou a visualização do produto de uma maneira geral, possibilitando adequações de componentes que são utilizados e necessários para que o produto possa atender as reivindicações dos clientes, além de determinar os encaixes, materiais e a cor do produto. A pesquisa contribui também para a lacuna de informações que trata de um setor específico do agronegócio, a cadeia produtiva de madeira. É importante procurar suprir a carência de produtos que ajudem a facilitar as operações agrícolas de produtores rurais.

O desenvolvimento do protótipo do fragmentador de madeira contribuiu para o entendimento, ensino e aprendizagem do projeto de desenvolvimento de produtos, com ênfase para a integração de conhecimento de diferentes áreas, em específico, para a criação de novos produtos para o campo do agronegócio. Como propostas para trabalhos futuros, sugerem-se: i) testes e validação do protótipo; ii) elaboração de manuais de funcionamento e manutenção; iii) estudos e análise estrutural, melhorias no projeto e otimização através da aplicação de ferramentas de CAD; iv) aplicação de análise de falhas em sistemas, subsistemas e componentes; e v) propor a ideia para comunidades rurais que tenham interesse em construí-lo.

## Referências

COSTA, M. A. B.; TOLEDO, J. C. Análise das práticas de gestão PDP em empresas de um polo industrial de revestimento cerâmico. **Production**, v. 23, n. 4, p. 671-682, 2013.

- DING, Y. et al. Model predictive control and its application in agriculture: A review. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 151, p. 104-117, 2018.
- FRANTZ, U. G. et al. Requisitos de clientes para o desenvolvimento de um implemento a fim de fechar taipas abertas para drenagem. **Ciência Rural (UFSM. Impresso)**, v. 45, p. 667-673, 2015.
- KEELING, R. et al. **Gestão de Projetos: Uma Abordagem Global**. 3ªed. São Paulo: Saraiva, 2014.
- KUIJT-EVERS, L. F. M. et al. Identifying factors of comfort in using hand tools. **Applied Ergonomics**, v. 35, p. 453-458, 2004.
- PÄIVINEN, M.; HEINIMAA, T. The usability and ergonomics of axes. **Applied Ergonomics**, v.40, n. 4, p. 790-796, 2009.
- ROMANO, L. N. **Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas: planejamento, projeto e produção**. São Paulo: Blucher acadêmico. 2013.
- ROZENFELD, H. et al. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos: Uma Referência Para a Melhoria do Processo**. 1º ed. São Paulo: Saraiva, 2006.
- SEVERO, R. F. et al. Relação entre os fatores de influência no projeto e a estrutura funcional de uma descascadora de mandioca. **Ciência Rural (UFSM. Impresso)**, v. 44, p. 1568-1573, 2014.
- SILVA, D. O. et al. Modelos para a gestão da inovação: revisão e análise da literatura. **Production**, v. 24, n. 2, p. 477-490, 2014.
- SILVEIRA, F. et al. Systematic proposition of integration between development of agricultural machines and quality management system for the industrial sector. **Independent Journal of Management & Production (IJM&P)**, v. 9, p. 424-447, 2018.